

ESTIMATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION ELECTRIQUE PAR COMBUSTION ET DIGESTION ANAEROBIE DES DECHETS ORGANIQUES A BITCHOUA (CAMEROUN) EN VUE DU DEVELOPPEMENT DE L'ELECTRIFICATION RURALE**ESTIMATION OF THE POTENTIAL OF ELECTRICITY PRODUCTION BY COMBUSTION AND ANAEROBIC DIGESTION OF ORGANIC WASTE IN BITCHOUA (CAMEROON) FOR THE DEVELOPMENT OF RURAL ELECTRIFICATION**

ENECKDEM TSOPGNI Vadel, FEUMBA Rodrigue Aimé et TCHUIKOUA Louis Bernard*.
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

*Auteur correspondant : tchuikoua@yahoo.fr

RESUME

La présente étude a pour objectif d'estimer le potentiel de valorisation énergétique des déchets organiques produits dans la localité de Bitchoua (Ouest du Cameroun) ainsi que les émissions évitées de gaz à effet de serre en considérant que la production d'énergie permettrait de soustraire les émissions des déchets souvent abandonnés dans la nature. Ces évaluations ont été réalisées à partir des données spatiales disponibles, d'enquêtes socio-démographiques et d'estimations quantitatives des gisements de déchets appropriés à Bitchoua.

Il ressort de l'étude que Bitchoua génère annuellement environ 39 250 t de déchets organiques par an, dont la valorisation énergétique permettrait de produire annuellement par méthanisation et combustion, environ 66 900 MWh de bioélectricité, ce qui correspond à plus de dix fois la consommation électrique actuelle de ce territoire (soit 11 829 %). Cette valorisation permettrait d'éviter chaque année les émissions de plus de 53 730 t eq.CO₂ issues des déchets organiques au cas où ils seraient abandonnés dans la nature.

MOTS-CLES : Déchets organiques, Méthanisation, Bioélectricité, Gaz à effet de serre, Bitchoua.

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the potential for energy recovery of organic waste produced in the Bitchoua group (West of Cameroon) as well as the avoided emissions of greenhouse gases by considering that the production of energy would make it possible to subtract the emissions from waste often abandoned in nature. These assessments were made using available spatial data, socio-demographic surveys and quantitative estimates of appropriate waste deposits in Bitchoua. It appears from the study that Bitchoua generates approximately 39,250 t of organic waste annually, the energy recovery of which would make it possible to produce through methanization and combustion, approximately 66,900 MWh of bioelectricity annually, which corresponds to more than ten times of the current electricity consumption of this territory (about 11 829 %). This recovery would make it possible to avoid emissions of more than 53,730 t eq.CO₂ each year from organic waste in the event that it is abandoned in nature.

KEYWORDS: Organic waste, Methanization, Bioelectricity, Greenhouse gas, Bitchoua.

1. INTRODUCTION

La demande d'énergie ne cesse d'augmenter dans le monde (Gras, 2007). Les énergies fossiles sont prépondérantes bien que leurs impacts environnementaux soient majeurs, notamment en termes d'impact global sur le dérèglement climatique. De très nombreux auteurs tels que Jancovici (2011) ou Dassonville (2015) encouragent le développement des énergies renouvelables et les systèmes énergétiques décarbonés. Le solaire et l'éolien sont les filières de production d'énergies renouvelables les plus répandues (Tchouate, 2003). La conversion biologique anaérobie des déchets organiques est en plein développement. La combinaison de ces filières renouvelables peut permettre notamment aux pays en développement de développer un mix énergétique durable pour réduire significativement leur consommation d'énergies fossiles (Tchouate, 2003), réduisant ainsi leur facture d'approvisionnement énergétique et les impacts environnementaux.

Les travaux sur les déchets organiques ont longtemps été orientés principalement vers les questions d'assainissement et de production de compost agricole (Ngnikam, *et al.*, 1997 ; Tanawa, *et al.*, 2000 ; Ngnikam et Tanawa, 2004 ; Sotamenou *et al.*, 2006 ; Rafrat et Kabil, 2006 ; Sotamenou, 2012 ; Tchoukoua, 2015 ; Feumba, 2017). Cependant, depuis la fin des années 1980, la recherche s'est penchée davantage sur la valorisation énergétique des déchets organiques (Demasse et Hugues, 2015 ; Vernier, 2017). Celle-ci peut être mise en place dans l'objectif de produire un vecteur ou une forme énergétique donnée (méthane, électricité, ...) ou une production mixte (chaleur + électricité) (Tchouate, 2003). Ces travaux ont essentiellement porté sur la paille (Faij *et al.*, 1997 ; Labalette et Jacquin, 2006 ; DREAL Centre, 2011). Notre étude a évalué les potentialités d'autres gisements de déchets organiques solides mobilisables, d'origines ménagères et agricoles.

A Bitchoua comme dans l'ensemble du milieu tropical, les déchets organiques solides ont une forte densité du fait de la grande proportion d'humidité et des matières fermentescibles (Ngnikam, *et al.* 1997, Tanawa, *et al.*, 2000, Tchoukoua, 2015). Leur valorisation permettrait de produire la bioélectricité, la bio-chaleur, des biocarburants (Vernier, 2017). Pour le cas de la valorisation électrique des déchets organiques, deux principaux procédés de traitement seraient envisageables : D'une part la combustion directe pour la biomasse relativement sèche, et d'autre part, la méthanisation puis la combustion pour la biomasse plus humide (Figure 1).

Cette valorisation répond à des enjeux multiples (écologiques, sociaux et économiques). Elle permettrait aussi d'apporter une solution durable au

traitement des déchets organiques solides et d'offrir une opportunité d'électrification rurale durable par les énergies renouvelables.

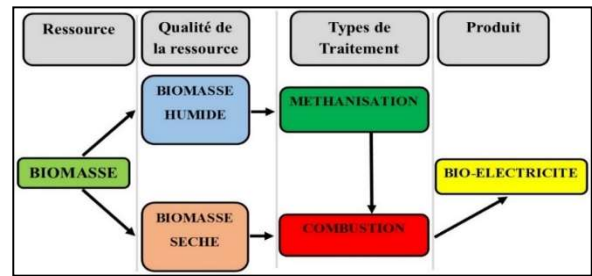


Figure 1. Filières de valorisation électrique de la biomasse des déchets organiques solides

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Cadre géographique de l'étude

Bitchoua est une localité rurale du Département du Ndé à l'Ouest du Cameroun. Ce village s'étend entre 4°59' et 5° 44' de latitude Nord et entre 10°36' et 10°40' de longitude Est, pour une superficie d'environ 40,58 km² (Figure 2).

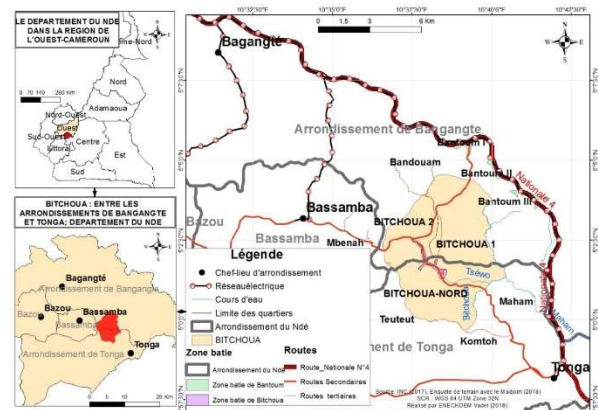


Figure 2. Territoire de Bitchoua et son réseau électrique
Source : INC (2017)

Située entre les communes de Bangangté et de Tonga, Bitchoua comptait en 2019 1306 habitants regroupés dans 282 ménages et répartis dans trois quartiers (Bitchoua 1, Bitchoua 2 et Bitchoua-Nord). Le territoire est traversé par une route en terre qui relie le village à la Nationale 4. Contrairement aux localités voisines traversées par le réseau d'électricité, le village de Bitchoua n'est pas électrifié. Cette situation serait liée à son éloignement par rapport au réseau (environ 7,5 km) et à l'histoire récente de cette localité. Selon nos estimations, la consommation électrique annuelle de Bitchoua est pourtant de l'ordre de 566 316 kWh en 2019 et devrait augmenter très rapidement, au

regard de sa forte croissance démographique (3,6 %), bien supérieure à la moyenne nationale entre 2005 et 2010 (Bucrep cité par Feumba 2017). Pour satisfaire cette consommation, les populations ont recours principalement à des groupes électrogènes à essence ou au gazole.

Le présent article analyse en contexte de changement climatique, une solution alternative potentielle d'électrification autonome et durable du territoire qui par ailleurs se caractérise par une forte production agricole (principalement vivrière). Les résidus issus de cette production et de la consommation des produits alimentaires constituent un gisement potentiellement valorisable. Ces résidus sont actuellement, soit brûlés sur les champs pour éviter leur accumulation qui devient très souvent encombrante, soit enfouis sous la surface des terres agricoles. La valorisation énergétique de la fraction des gisements de matière organique actuellement abandonnés dans la nature pourrait apporter une contribution à l'électrification du territoire. Cette étude cherche aussi à estimer cette fraction.

2.2. Evaluation quantitative des déchets organiques solides de Bitchoua

La production des déchets ménagers organiques solides de Bitchoua a été évaluée en 2019 par des questionnaires administrés à l'ensemble des 282 ménages du territoire. Puis, un suivi complémentaire de terrain a été conduit directement auprès de tous les ménages. Ainsi, la production de déchets ménagers a été pesée tous les jours pendant deux mois (Janvier en saison sèche et Septembre en saison de pluies) à l'aide d'une balance ELSAY BR9098 ayant une portée de 180 kg et une précision de 1 kg. Les productions de déchets agricoles (élevage et cultures) ont quant à elles été estimées en évaluant d'une part les surfaces des principales cultures pratiquées, et d'autre part, les types d'élevage et le nombre d'animaux correspondants. Ces évaluations ont été faites avec le chef de poste agricole local. Les types et tailles de cultures ainsi que les animaux d'élevage ayant ainsi été évalués, les résultats obtenus ont ensuite été multipliés par des facteurs de conversion moyens de production de déchets afin d'estimer la nature et les ordres de grandeurs de production quantitative de déchets agricoles mobilisables sur le territoire (Tchouate, 2003).

2.3. Sélection des filières de valorisation énergétiques

Deux principales filières permettent de produire de l'électricité à partir des déchets organiques générés à Bitchoua : La conversion thermochimique (combustion notamment) et la conversion biologique (digestion anaérobie). Les deux filières permettent de

produire par cogénération de la chaleur et de l'électricité, la première directement, la deuxième par production de méthane suivie de sa combustion (Gourdon et Bayard, 2001). La filière thermochimique est adaptée à la biomasse de type ligno-cellulosique à faible teneur en eau, alors que la méthanisation est plutôt adaptée à des déchets organiques humides biodégradables de types déchets de cuisine, déjections animales, déchets agricoles, etc. (Sotamenou, 2012).

Le potentiel énergétique des déchets par voie thermochimique est exprimé par le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI). Le pouvoir calorifique d'un combustible indique sa capacité à fournir une quantité de chaleur lors de sa combustion (RECORD, 2009). Une valeur moyenne de 4,475 MWh/t de déchets à 17,4% d'humidité moyenne a été utilisée dans nos calculs (DREAL Centre, 2011). Pour le second procédé (combustion du biogaz produit par digestion anaérobie), l'étude mobilise différents postulats d'estimation du potentiel en biogaz, relevés dans des travaux de Rasi et al., (2007), Solagro et Indigo (2013), Okonkwo et al., (2016) et Tanios (2017). Notons que ces facteurs de conversion varient en fonction du type de résidus traités. Par la suite, l'étude estime que la combustion du biogaz fournirait environ 6,6 kWh par m³ (Sotamenou, 2012). Partant du principe que dans la pratique, aucun système de transformation d'énergie ne s'effectue sans pertes (RECORD, 2009), le rendement de la production électrique est généralement 1/3 d'électricité pour 2/3 de chaleur.

2.4. Evaluation des émissions évitées de Gaz à Effet de Serre (GES)

Dans le paradigme actuel de gestion des déchets organiques à Bitchoua (décharges sauvages), d'importantes quantités de Gaz à Effet de Serre (GES) sont émises dans l'atmosphère. Or, la valorisation énergétique de ces déchets permettrait d'éviter ces émissions. Il est important de relever que l'option de valorisation électrique des déchets organiques proposée, permettrait également d'éviter les émissions dues jusqu'ici à la production d'électricité par les groupes électrogènes consommant des combustibles fossiles (essence, gazole). L'estimation de ce type de gain en émission de GES n'est pas intégré au présent article, qui se focalise uniquement sur les gains liés à la valorisation des déchets organiques. L'estimation de ces émissions évitées (notamment le dioxyde de carbone et le méthane) par la valorisation électrique des déchets organiques est faite sur la base des facteurs de conversion tirés de la littérature et adaptés au contexte. S'inspirant des travaux de l'ADEME (2014), l'étude considère comme postulat d'émission que les déchets fermentescibles émettent environ 44 kg de CO₂/t et

environ 53 kg de CH₄/t. Ainsi, on peut estimer l'émission en tonne équivalent CO₂ à l'horizon de 100 ans (t eq. CO₂/t), en considérant que 1 tCO₂ = 1 t eq. CO₂ et 1 tCH₄ = 25 t eq. CO₂.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Quantification des gisements de déchets mobilisables

L'agriculture, qui emploie 79 % de la population, représente la principale Activité Génératrice de Revenus (AGR) à Bitchoua (Figure 3). Les principaux gisements de déchets organiques produits à Bitchoua sont donc constitués de déchets organiques agropastoraux et ménagers.

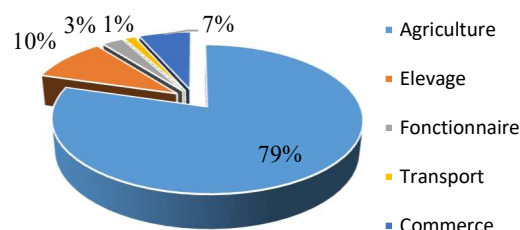


Figure 3 : Principales activités professionnelles de la population de Bitchoua

3.1.1. Résidus des cultures

Le Tableau 1 donne les productions estimées des déchets de culture à Bitchoua.

Tableau 1 : Estimation quantitative de la production de résidus de culture à Bitchoua (d'après Tchouate, (2003) et la présente étude

Cultures	Surface cultivée (ha)	Types de résidus	Taux de production estimé de résidus (T/ha)	Production estimée (T/an)
Arachide	20	Pailles	2,3	46
		Coques	0,5	10
Maïs	1300	Tiges	2,2	2 860
		Rafles	0,25	325
Palmier à huile	30	Rafles	24	31 200
		Coques de noix	0,8	24
		Fibres	18	540
Légumineuses	5	Pailles	0,5	2,5
Cacao	200	Cabosse	2,6	520
Café	185	Balles	1,2	222
Manioc	50	Tiges	2,70	135
Tomates	20	Pailles	20,2	404
Ignames	5	Pailles	1,5	7,5
Bananiers	20	Troncs et feuilles	20,0	400
Plantains	80	Troncs et feuilles	20,0	1 600
Total				38 296

La production annuelle totale de ces résidus est estimée aux alentours de 38000 tonnes. Ils sont généralement épandus sur les sols en tant qu'apport organique.

Contrairement à Labalette et Jacquin (2006) qui considèrent les graminées comme la principale source de production des déchets de culture, la culture du palmier à huile est la principale source à Bitchoua avec une production de résidus de 31 764 tonnes par an. Viennent ensuite les déchets de la culture du maïs (3185 t) en raison des grandes surfaces cultivées, de la pluralité de campagnes de production (trois par an) et des modes de récolte rudimentaire.

3.1.2. Déchets d'élevage

Le Tableau 2 donne la production des déchets d'élevage à Bitchoua estimée sur la base des taux de production de fumier par tête d'animaux et par an. Il

ressort des analyses qu'on peut estimer la production de déchets d'élevage à environ 423 t/an, soit de l'ordre de 1,16 t/ jour. Les principales sources par ordre de production sont les élevages de porcs, de poulets, puis de chèvres.

Tableau 2 : Estimation quantitative de la production de déchets d'élevage à Bitchoua (d'après Rafraf et Kabil (2006) et la présente étude

Type d'élevage	Nombre de têtes	Facteur de production (t. par tête et par an)	Production totale (t. / an)
Poulets de chair	480	0,3	144
Autres poulets	96	0,2	19
Porcs	83	2,8	232
Caprins	47	0,6	28
Total	706	/	423

3.1.3. Déchets organiques ménagers

La production de déchets organiques ménagers varie en fonction du niveau de vie et de la zone considérée (urbaine ou rurale), mais aussi des habitudes alimentaires (Sotamenou, 2012). Différentes classes de ménages ont été identifiées à Bitchoua. Il s'agit des petits producteurs (- de 5 kg / jour), des producteurs moyens (5 à 10 kg/j) et des gros producteurs (10-15 kg/j). En considérant le nombre de ménages dans chaque classe, on peut estimer la production de déchets organiques ménagers à Bitchoua à environ à 1,45 tonne par jour, soit de l'ordre de 530 tonnes par an (Tableau 3).

Tableau 3 : Estimation quantitative de la production de déchets organiques ménagers à Bitchoua

Production par ménage (kg/j)	Nb de ménages	Production journalière (en tonnes/j)	Production annuelle (tonnes/an)
- de 5	137	0,342	125
5-10	141	1,057	386
10-15	4	0,050	18
Total	282	1,450	529

Avec une population de 1 306 habitants pour 282 ménages, soit une moyenne de cinq personnes par ménage, les estimations réalisées indiquent que chaque ménage produit en moyenne environ 5 kg/jour et chaque habitant de l'ordre de 1 kg/j. Ce chiffre est largement au-dessus de la production moyenne nationale de 0,6 kg par habitant et par jour indiquée par Sotamenou (2012). Ceci pourrait s'expliquer par la prédominance d'une alimentation en tubercule et la faible consommation de produits importés (riz, spaghetti).

Pour l'ensemble des catégories de déchets organiques considérées ici, (agricoles, pastoraux et ménagers) la production globale a été estimée à environ 39 250 t/an, soit de l'ordre de 107 t/jour. Les déchets de cultures agricoles représentent de loin la principale catégorie.

3.2. Potentiels de valorisation électrique des déchets organiques

3.2.1. Valorisation par combustion

Parmi les déchets mobilisables pour une valorisation par combustion en raison de leur faible humidité, les rafles et les tiges représentent les quantités les plus élevées (Tableau 4). D'autres ressources de biomasse lignocellulosique sont également disponibles, sous forme de granulats ou de tiges et autres fibres.

Les potentiels énergétiques spécifiques de ces ressources sont donnés au Tableau 5.

Tableau 4. Ressources valorisables par combustion

Catégorie	Types de résidus	Natures	Quantités (Tonnes/an)
Granulats, broyats	Coques	Coques d'arachides	10
		Coques de noix	24
	Bales	Bales de café	222
	Cabosse	Cabosses de cacao	520
Total granulats			776
Pailles	Pailles	Pailles d'arachides	46,5
		Pailles de légumes	22,5
		Pailles de tomates	404
		Pailles d'ignames	9,5
Total pailles			460
Rafles	Rafles	Rafles de maïs	325
		Rafles de palmier à huile	31 200
Total rafles			31 525
Tiges et fibres	Tiges	Tiges de maïs	2 860
		Tiges de manioc	135
	Fibres	Fibres de palmier à huile	540
Total tiges			3 535
Grand Total			36 296

La combustion directe de l'ensemble du gisement indiqué mobilisable (36 296 tonnes, Tableau 4) représenterait un potentiel énergétique de 195 983 MWh/an (Tableau 5).

Tableau 5. Potentiels énergétiques maxima de la valorisation par combustion (DREAL, 2011)

Catégorie	Quantités en tonnes	Pouvoir calorifique inférieur (MWh par t. humide)	Energie max récupérable (MWh)
Granulats	776	4,6	3 570
Pailles	460	4,6	2 220
Céréales	31 525	5,7	17 9693
Tiges et fibres	3 535	3,0	10 605
Total	36 296		195 983

En considérant les rendements énergétiques, il ne serait possible de récupérer que 1/3 de cette énergie pour des besoins de production électrique, soit environ 65 300 MWh/an. Ceci représente cependant un potentiel électrique fort important susceptible de soutenir l'électrification de la localité. L'estimation des potentiels énergétiques a été réalisée en considérant une valeur unique de PCI pour chaque catégorie de ressources. Cette approche peut conduire à surestimer les quantités d'énergie effectivement récupérables (Demasse et Hugues, 2015). Schenkel et Benabdallah, 2005 rapportent que le PCI ne saurait être globalisé. Il varie en fonction des propriétés du combustible (type de résidu, origine, teneur en eau, etc.). Ce qui implique de mener des études plus complètes pour mieux caractériser les gisements.

3.2.2. Valorisation par digestion anaérobie

Le procédé de méthanisation par digestion biologique anaérobie est particulièrement adapté aux déchets à forte teneur en eau, tels que par exemple la fraction organique des ordures ménagères (gisement de l'ordre de 530 tonnes par an, Tableau 3), les résidus de cultures des bananiers-plantains (2000 t) ou les déchets d'élevage (423 t/an, Tableau 2). L'ensemble des déchets concernés représente un gisement total estimé à environ 2 953 t/an. Leur valorisation par méthanisation permettrait de produire de l'électricité par cogénération à partir du méthane, ainsi qu'un « digestat » pouvant être utilisé comme amendement organique des sols arables (Bayard et Gourdon, 2007). Les potentiels de production de méthane par digestion des gisements des déchets organiques à Bitchoua ont été estimés à partir des productions estimées de chaque catégorie de déchets et de leurs potentiels respectifs de production de biogaz rapportés dans la littérature scientifique (Rasi et al. (2007), Solagro et Inddigo (2013), Okonkwo et al., (2016), Tanios (2017)). Le potentiel énergétique correspondant a ensuite été calculé en considérant un PCI moyen de 6,6 kWh/m³ de biogaz (Sotamenou, 2012 ; Record, 2009). Les valeurs ainsi calculées sont données au Tableau 6.

Tableau 6. Valorisation énergétique potentielle par digestion anaérobie et combustion du biogaz

Secteur de prod.	Prod. de déchets (t/an)	Facteur de prod. de biogaz (Nm ³ /t)	Prod. de biogaz (Nm ³ /an)	Prod. potentielle d'énergie (kWh/an)
Agricole	400	218	87 200	575 520
	1 600	218	348 800	2 302 080
Pastoral	163	192	31 334	206 807
	28	184	5 189	34 246
	232	192	44 621	294 497
Ménager	529	450	238 163	1 571 873
Total	2 953		755 307	4 985 023

On peut estimer à environ 4 900 MWh/an l'énergie maximale qui serait récupérable de la combustion du biogaz. Compte tenu du rendement de production électrique générale de 1/3 d'électricité pour 2/3 de chaleur, il serait possible de récupérer environ 1 600 MWh/an d'énergie électrique. Ce qui constitue un grand atout à mesure d'assurer l'électrification durable de Bitchoua. Globalement, l'étude marque une évolution par rapport aux travaux qui uniformisent les facteurs d'estimation du biogaz à tout type de déchets (Gebudetechnik, 2017), en ce sens qu'elle intègre le fait que le rendement en biogaz est spécifique à chaque substrat comme le montrent les travaux de Solagro et Inddigo (2013) ou de Okonkwo et al. (2016). Ce qui donne lieu à des résultats assez différents des méthodologies unificatrices des postulats de conversion. Les gains en biogaz et en énergie semblent certes importants dans

la présente étude. Mais selon Schenkel et Benabdallah (2005), de tels résultats peuvent avoir des limites en raison de l'approche estimative des valeurs de biogaz et d'électricité productibles (suivant les postulats de conversion). En effet, les facteurs de conversion utilisés sont généralistes et ont tendance à uniformiser les résultats (Vernier, 2017). Or, la qualité, la quantité de méthane et l'énergie productible sont essentiellement variables selon des paramètres comme, le pH, la teneur en eau, l'homogénéité et la granulométrie du substrat, le rapport carbone/azote (Schenkel et Benabdallah, 2005). Toutefois, selon Tchouate (2003), à défaut de disposer d'un catalogue d'étude sur chaque type de résidus méthanisable dans la localité, l'emploi de pareils postulats demeure envisageable et recommandé pour empêcher l'inaction, orienter le chercheur et le décideur.

Globalement, la valorisation de l'ensemble des gisements de déchets organiques mobilisables à Bitchoua permettrait de fournir environ 66 900 MWh/an d'énergie électrique. Ce potentiel couvrirait 118 fois le besoin en énergie électrique actuel de Bitchoua estimé ici à environ 566 MWh). En d'autres termes, cette approche pourrait assurer l'électrification durable de la localité de Bitchoua pendant plusieurs décennies en tenant compte de son dynamisme démographique et économique. Cette approche contribuerait également à réduire l'impact environnemental des déchets notamment en évitant les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui se produiraient si les déchets n'étaient pas traités.

3.3. Estimation des émissions évitées de GES

La valorisation des déchets organiques, permettrait de promouvoir une électrification propre, mais aussi de lutter contre le changement climatique (par des émissions évitées de GES) (Feumba R.A., 2017).

Les déchets organiques peuvent en effet être une source de GES s'ils sont mal ou pas traités (IPCC, 1996). Ainsi, abandonnés dans les champs, le long des routes, derrière les domiciles, les déchets organiques produits à Bitchoua émettent surtout du méthane, du protoxyde d'azote et du gaz carbonique (Tanawa et al., 2000).

La valorisation énergétique des déchets organiques mobilisables à Bitchoua permettrait de réduire l'empreinte carbone locale, en atténuant les émissions actuelles de Gaz à Effet de Serre de ces déchets. En se basant sur les facteurs d'émission de l'ADEME (2014), les résultats donnés dans les Tableaux précédents permettent d'estimer que le traitement de ces déchets pourrait éviter les

émissions annuelles d'environ 1 727 t de CO₂ et environ 2 080 t de CH₄. Soit au total, approximativement 53 732 t eq.CO₂ actuellement rejetées dans l'atmosphère tous les ans. Ces résultats sont assez éloignés de ceux obtenus rapportés précédemment par d'autres auteurs en considérant qu'une tonne de déchets organiques génèrerait 250 kg de CO₂ et 225 kg de CH₄ soit 4,9 t eq.CO₂ (tonne équivalent gaz carbonique à l'horizon de 100 ans) en une quarantaine d'années (Ripatti et Savolainen, 1996 ; Ngnikam *et al.*, 1997 ; Tanawa, *et al.*, 2000). Sur cette base, les valeurs d'émissions évitées calculées par ces auteurs (de l'ordre de 980 t de CO₂ et 8 830 t de CH₄ en une quarantaine d'années) sont faibles par rapport à celles calculées ici avec les hypothèses de l'ADEME (2014).

4. CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif d'évaluer les potentialités et possibilités de valorisation des déchets organiques solides de Bitchoua à des fins d'électrification autonome et sobre en carbone. Ce qui a mobilisé des données d'enquêtes et de pesées des déchets. Ces données ont ensuite été traitées au travers des analyses probabilistes pour extraire des informations utiles. Il ressort des analyses qu'avec une production de déchets organiques solides (agricoles, pastoraux et ménagers) estimés à environ 39 249 t/an, soit environ 107,53 t/jour, Bitchoua est un important foyer de bio-déchets solides. Non-traités, ces déchets constituent une menace tant pour les populations que pour l'environnement. Raison pour laquelle leur valorisation est impérative à plusieurs égards. Du point de vue énergétique, en considérant les différentes technologies de traitement des déchets à des fins électriques, on peut estimer le potentiel bioélectrique de la localité à environ 66 900 MWh/an. Ce qui permettrait aisément d'assurer l'électrification de la localité (dont la demande électrique en 2018 s'élève à environ 566 316 kWh) et rendre la localité électriquement indépendante au point d'exporter le surplus énergétique qui serait produit. Par ailleurs, une telle valorisation électrique permettrait également d'éviter des émissions additionnelles de GES, soit environ 1 727 t de CO₂ et environ 2 080 t de CH₄, pour un total approximatif de 53 732 t eq.CO₂. Ce qui constituerait une forte contribution locale à la réduction des émissions de GES, à la lutte contre les changements climatiques et à la promotion du développement durable.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME (2014). Base carbone, Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone, Version 11.0.0, 280p. <https://www.bilans-ges.ademe.fr>
- Bayard & R. Gourdon (2007) Traitement biologique des déchets. *Techniques de l'Ingénieur*, J 3 966, 1-23 <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-secure-th5/gestion-des-dechets-42437210/traitement-biologique-des-dechets-g2060/>
- Gebudetechnik (2017). Gaz naturel/biogaz : Notre énergie, Association Suisse de l'Industrie Gazière, Suisse, 8p. <https://www.xn--gebudetechnik-dfb.ch.yanova.ch/fr/branche/actualitedumarche/gaz-naturel-biogaz-notre-energie/>
- Demasse S. et Hugues P. (2015). Opportunité de co-combustion de biomasse dans une centrale charbon, CMA, MINES ParisTech, OSE 2015, Projet d'optimisation, 6p. <https://www.mines/Paristech/OSE-2015/>
- Dassonville Bertrand (2015). La transition énergétique à venir : Essai de vision globale, Casden, 146p. https://www.casden.fr/content/download/493458/3201650/file/Bertrand_Dassonville-La_transition_energetique_a_venir.pdf
- DREAL Centre (2011). Évaluation du potentiel en énergie biomasse de la région centre ; phase 1 : Evaluation de la ressource biomasse supplémentaire mobilisable, Rapport AXENNE, Lyon, Mars 2011, 141p http://www.observatoire-energies-centre.org/upload/FILE_51c16d7cecd4e_rapport_1_biomasse_centre_2_.pdf/rapport_1_biomasse_centre_2_.pdf
- Faij A., Van Ree, R., Waldheim L., Olsson E., Oudhuis A., Wijk A., van, Daey Ouwens C., Turkenburg W. (1997). Gasification of Biomass wastes and residues for electricity production. *Biomass and Energy*, 12 (6), 387-407. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00010-X)
- Fuamba R.A., (2017). Adaptation planifiée de l'Etat aux impacts de la variabilité et des changements climatiques au Cameroun de 1960 à 2015, Thèse de Doctorat/PhD, Université de Ngaoundéré, 498 P.
- Gras A., 2007. Le Choix du feu : Aux origines de la crise climatique, Fayard, Paris, 281 p. <https://journals.openedition.org/developpementdurable/4803>
- IPCC, (1996). Revised 1996 IPCC guide-lines for national Greenhouse Gas inventories: Workbook, Published for the Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC), World Meteorological Organization/ United Environment Program, Cambridge University Presse, UK. Houghton, J. T, Jenkins, G.J and Ephraums, J. J (Eds). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf

- Labalette F. et Jacquin C. (2006). Paille ou plantes entières pour l'usine de production de bioélectricité de Sangüesa, ONIDOL, ARVALIS– Institut du végétal, Bioelectricity Crops), 13p. http://webetab.ac-bordeaux.fr/Etablissement/AFallieres/forumDD/bioelectricite_sanguesa_espagne.pdf
- Jancovici J-M., (2011). *Changer le monde : Tout un programme !*, Calmann Lévy, 242p. <https://biosphere.ouvaton.org/annee-2011/1490-2011changer-le-monde-tout-un-programme-de-jean-marc-jancovici>
- Ngnikam E., Vermande P., Tanawa, E. et Wethe, (1997). Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides au Cameroun, *Déchets, Sciences et Techniques*, 5, 22-34 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03182980/document>
- Ngnikam E. et Tanawa E., (2004). Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain : comment aller plus loin dans le cas du Cameroun ?, Actes de séminaires. Presses Universitaires de Yaoundé – Cameroun. 123 p. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/pseau_gestion_durable_dechets_assainissement.pdf
- Okonkwo U., Onokpita E. et Onokwai A., (2016). Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. In Press, Corrected Proof. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2016.02.002>
- Rafrafi M. et Kabil M. (2006). « Evaluation of the production of agricultural residues in Morocco ». Université Chouaib Doukkali, 14p. http://uest.ntua.gr/archive/Morocomp/1ST%20PROGRESS%20REPORT_MOROCOMP_all_pdf_ENG/DELIVERABLE_1/ANNEXES/ANNEX_5.pdf
- Rasi S., Veijanen A. et Rintala J., (2007). Trace compounds of biogas from different biogas production plants, *Energy*, 32, 1375–1380. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544206003033>
- RECORD (2009). Tech. de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse, n°07-0226/1A, 253 p. https://www.record-net.org/storage/etudes/07-0226-1A/rapport/Rapport_record07-0226_1A.pdf
- Ripatti, R. et Savolainen, I., (1996). Role of energy production in the control of greenhouse gas emission from waste management In Reimer and Smith (Eds); Proceeding of the International Energy agency, Greenhouse Gas mitigation options conference energy Guest, *Energy conservation and management*, 37 (6-8), 1105-1110. <https://cris.vtt.fi/en/publications/role-of-energy-production-in-the-control-of-greenhouse-gas-emissi>
- Schenkel Y. et Benabdallah B., (2005). Guide biomasse énergie, 2e Édition, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), 418p. https://www.ifdd.francophonie.org/media/docs/publications/248_Guide_biomasse_2005.pdf
- Solagro et Inddigo, (2013). Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation, RAPPORT FINAL, ADEME, Avril 2013, 117p. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3431-estimation-des-gisements-potentiels-de-substrats-utilisables-en-methanisation.html>
- Sotamenou J., Kamgnia Dia B. et Parrot L., (2006). La décentralisation pour une gestion efficace des déchets solides municipaux de la ville de Yaoundé, Université de Yaoundé II - Soa, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Yaoundé, Cameroun.15p. <https://muhez.org/la-decentralisation-pour-une-gestion-efficace-des-dechets-soli.html>
- Sotamenou J., 2012. La gestion des déchets solides à Yaoundé : la pertinence du compostage, Editions Universitaires Européennes, Berlin, 289p. https://www.researchgate.net/publication/275409862_La_gestion_des_dechets_solides_a_Yaounde_la_pertinence_du_compostage_Editions_Universitaires_Europeennes
- Tanawa, E., Ngninkam, E., Tchoungang, C., (2000). Compostage des déchets, urbains au Cameroun : Une solution pour la réduction, des émissions de gaz à effet de serre, in *SUD Sciences & Technologies*, 6, 15-26 <https://www.ajol.info/index.php/sset/article/view/18306>
- Tanios C., (2017). Caractérisation, évaluation de la toxicité du biogaz issu de déchets ménagers et valorisation par reformage catalytique, Thèse de doctorat en cotutelle, Université du littoral côte d'Opale et l'Université libanaise, 234 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01946560/document>
- Tchouate Heteu, P., (2003). Contribution des énergies renouvelables au développement durable du secteur électrique : le cas du Cameroun, Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Faculté de Sciences appliquées, France, 285p. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:5195>
- Tchuikoua L. B., 2015. Gestion des déchets solides ménagers à Douala. Acteurs, pratiques urbaines et risques environnemento-sanitaires, L'Harmattan, Paris, 196 p. <https://www.editions-harmattan.fr/livre-gestion-des-dechets-solides-menagers-a-douala-acteurs-s-pratiques-urbaines-et-risques-environnemento-sanitaires-louis-bernard-tchuikoua-9782336309767-47565.html>
- Vernier J. (2017). L'énergie des déchets, Chapitre V, pp : 96-111, In *Les énergies renouvelables*, 2017, J. Vernier, Collection Que sais-je ?, Presses Univ./ de France, 128 p. <https://www.cairn.info/les-energies-renouvelables--9782130799696-page-96.html>